

外力下における広角・小角X線散乱 測定に基づく炭素繊維複合材料の 力学変形挙動解明

豊田工業大学極限材料専攻

田代孝二、山元博子、吉岡太陽、田原大輔、王海

三菱レイヨン(株) 大竹研究所基礎解析センター
小林 貴幸

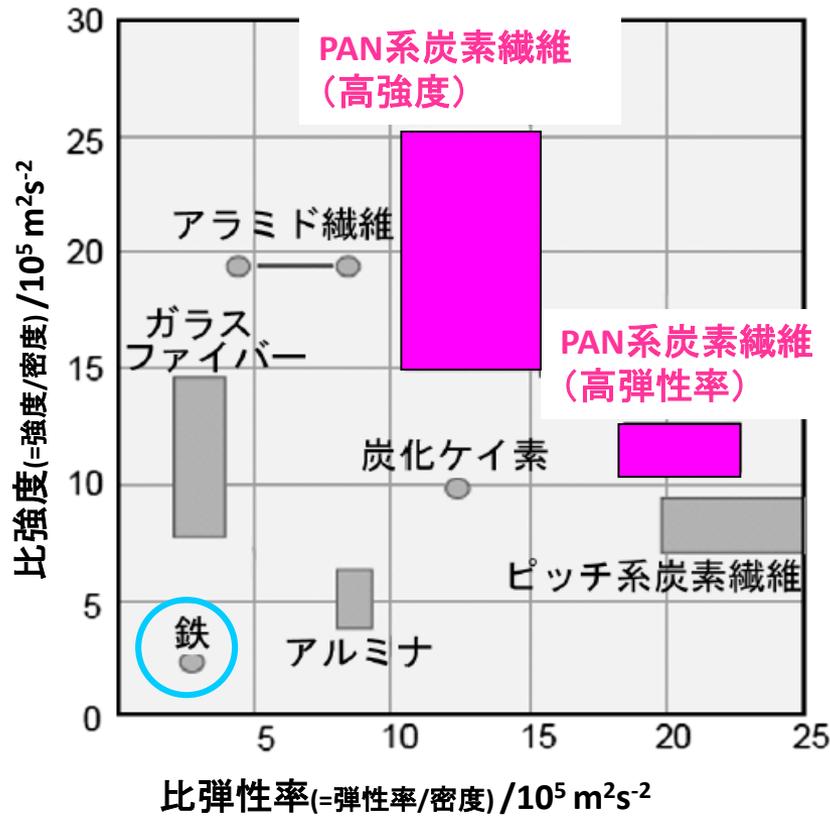
あいちシンクロトロン光センター
加藤一徳、酒井久資

PAN系炭素繊維

スポーツ用途



比強度、比弾性率



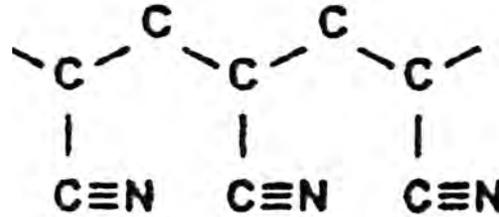
航空宇宙分野



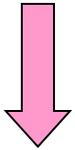
麻生宏美、間鍋徹, 炭素, 227, 115 (2007).

炭素繊維の製造工程

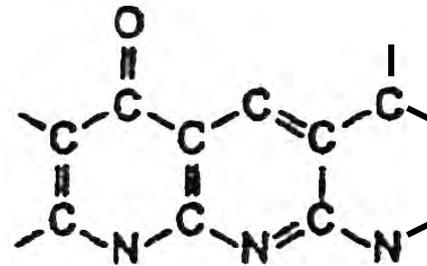
ポリアクロニトリル繊維
(PAN)



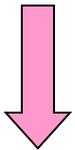
空气中 200~300°C加熱



耐炎化繊維



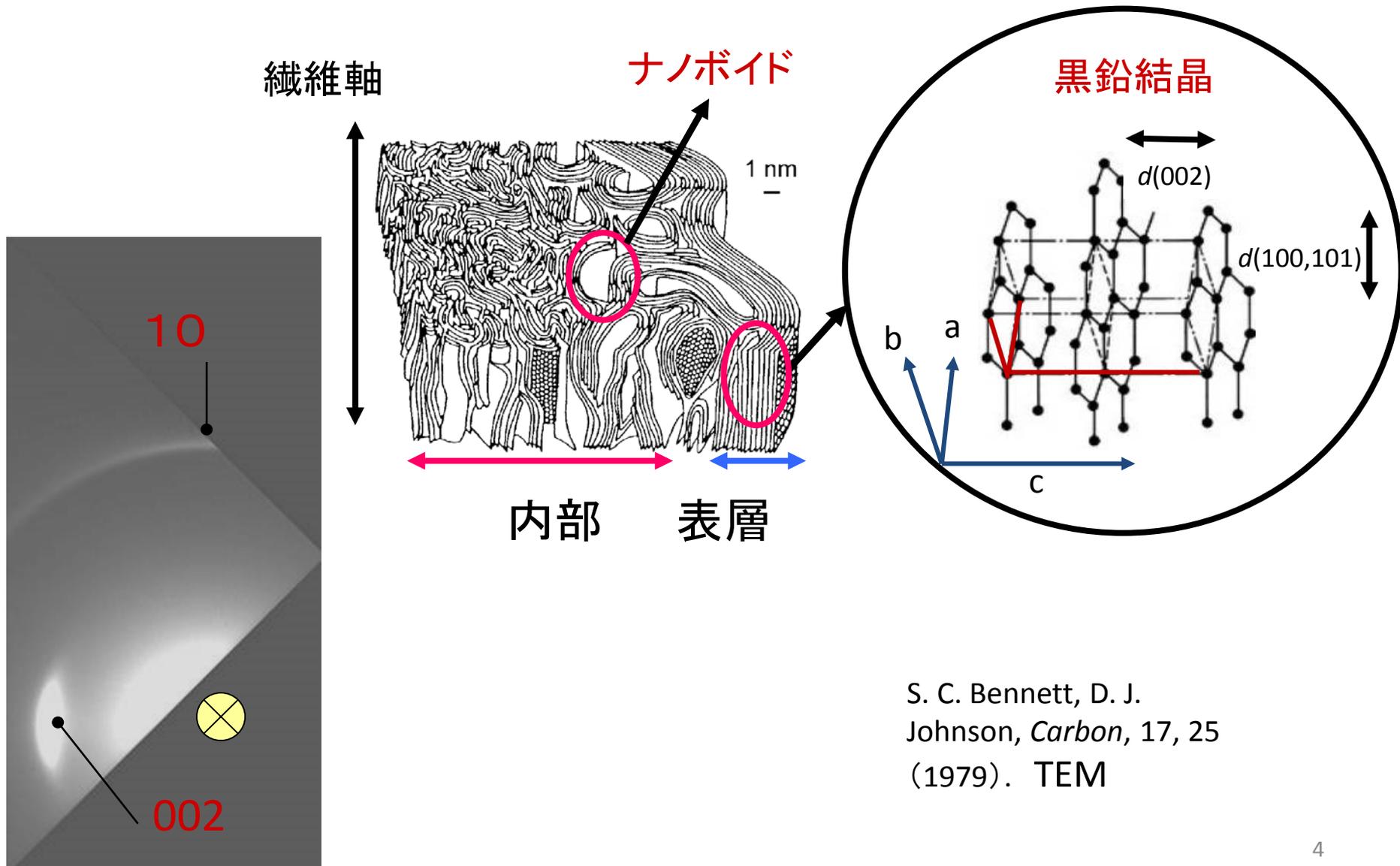
窒素中 1000~3000°C加熱



炭素繊維

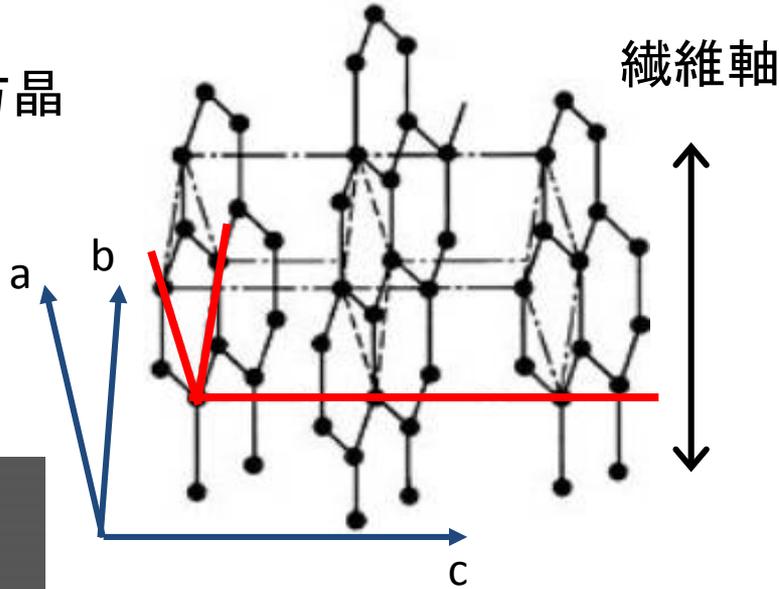


炭素繊維の微視的構造(モデル)

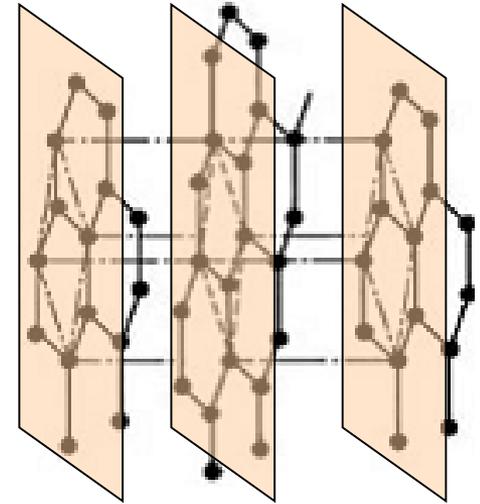


黒鉛の結晶構造

六方晶



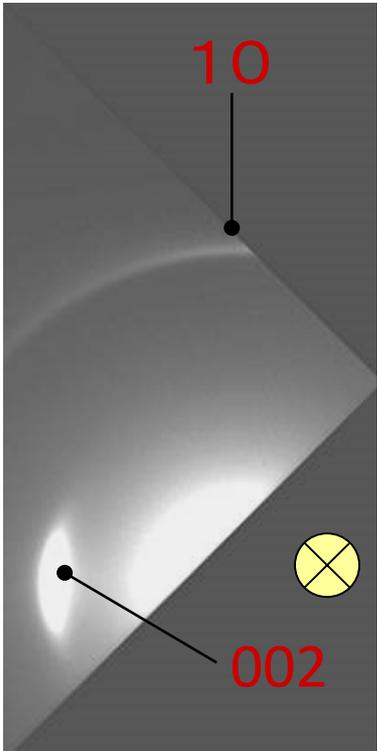
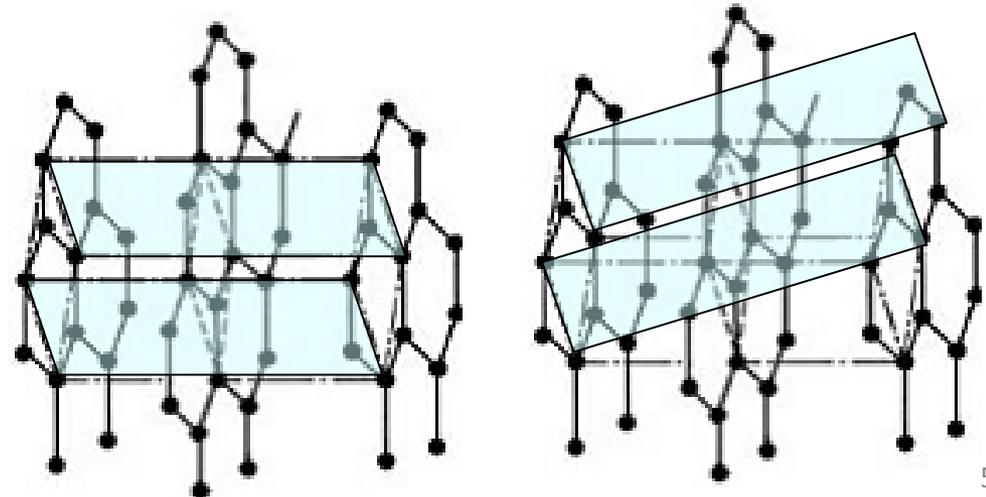
002面



10面

100面

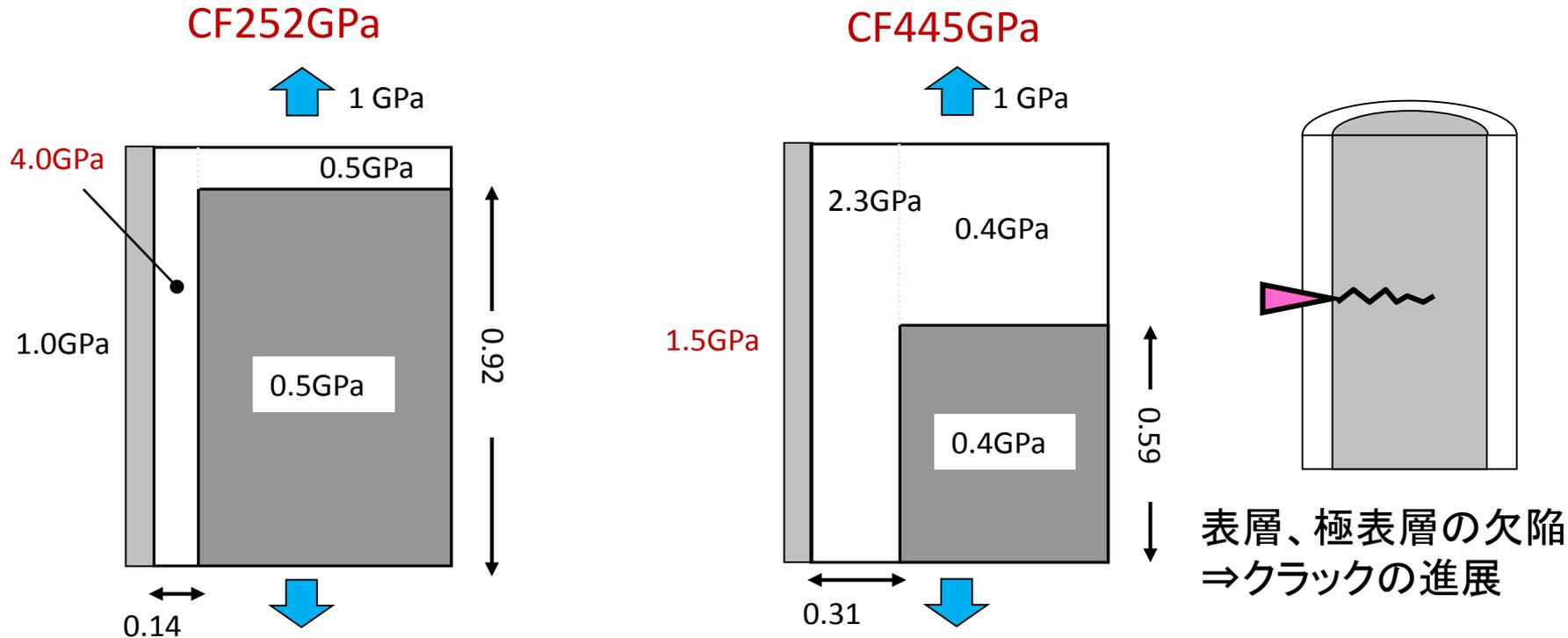
101面



CF単繊維中の応力不均一分布状態

(Kobayashi, Tashiro, *Carbon*, **53**, 29-37(2013))

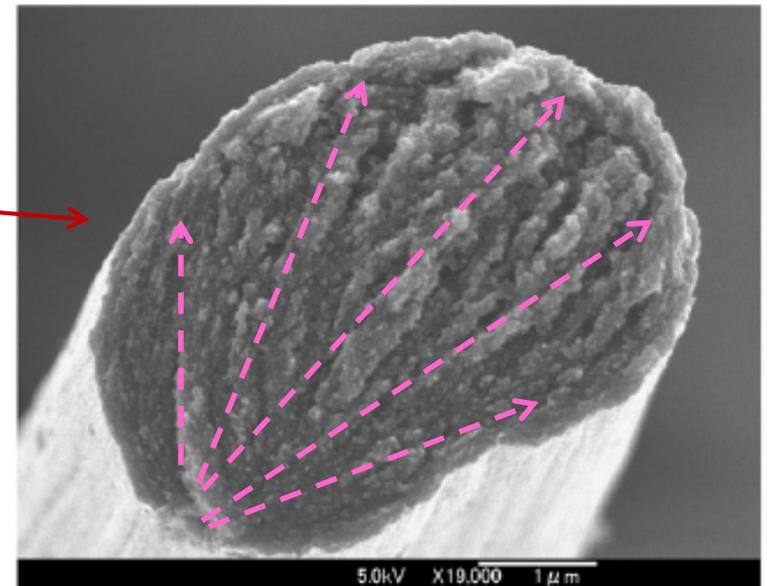
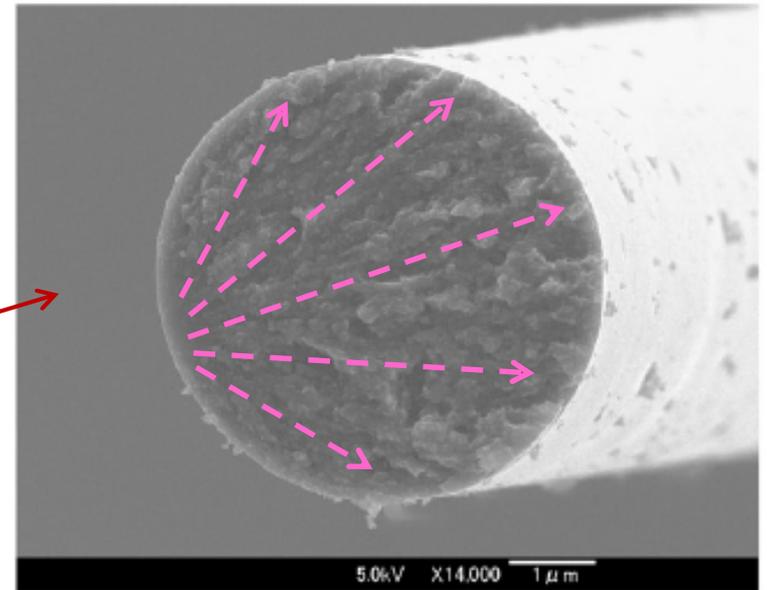
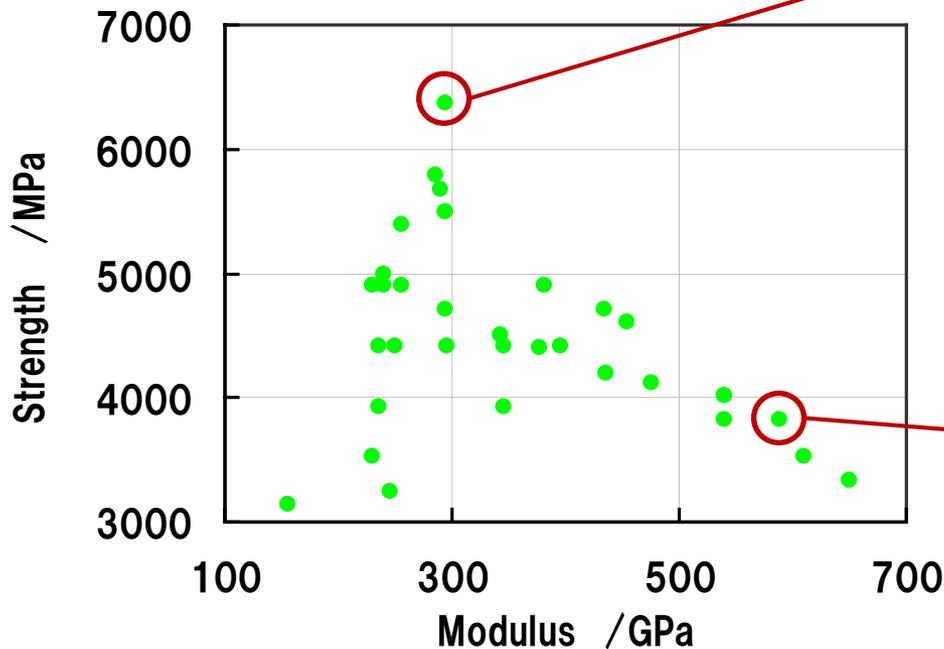
炭素繊維に $\sigma_{\text{bulk}}=1\text{GPa}$ の応力を与えた場合の応力分布



弾性率の**低い**炭素繊維
炭素繊維の内部に応力の高い部分が存在している可能性。

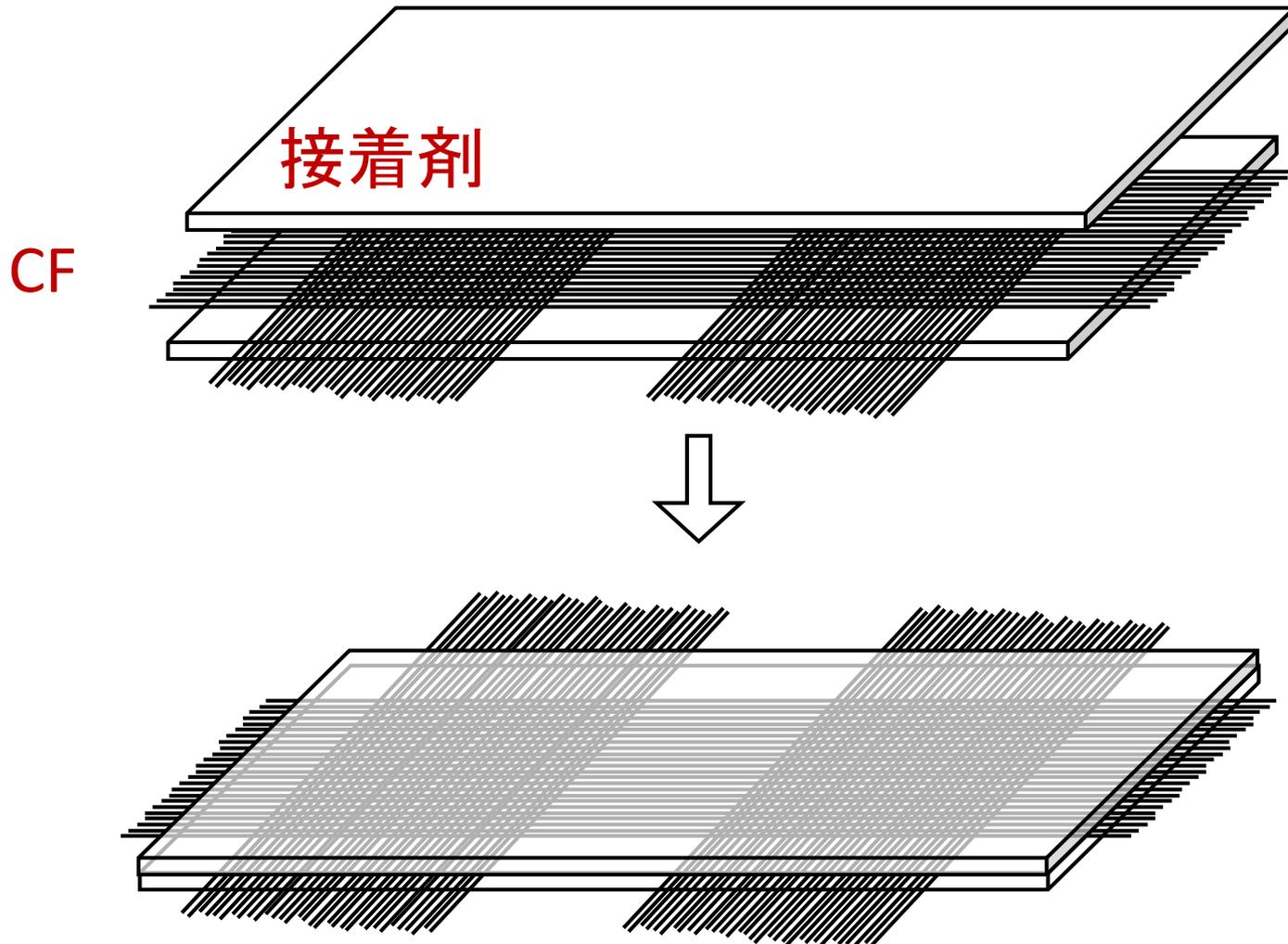
弾性率の**高い**炭素繊維
繊維極表層で応力が高い。また繊維極表層、表層には欠陥が存在しやすい。⇒繊維極表層、表層からの破壊 6

炭素繊維の破壊開始点



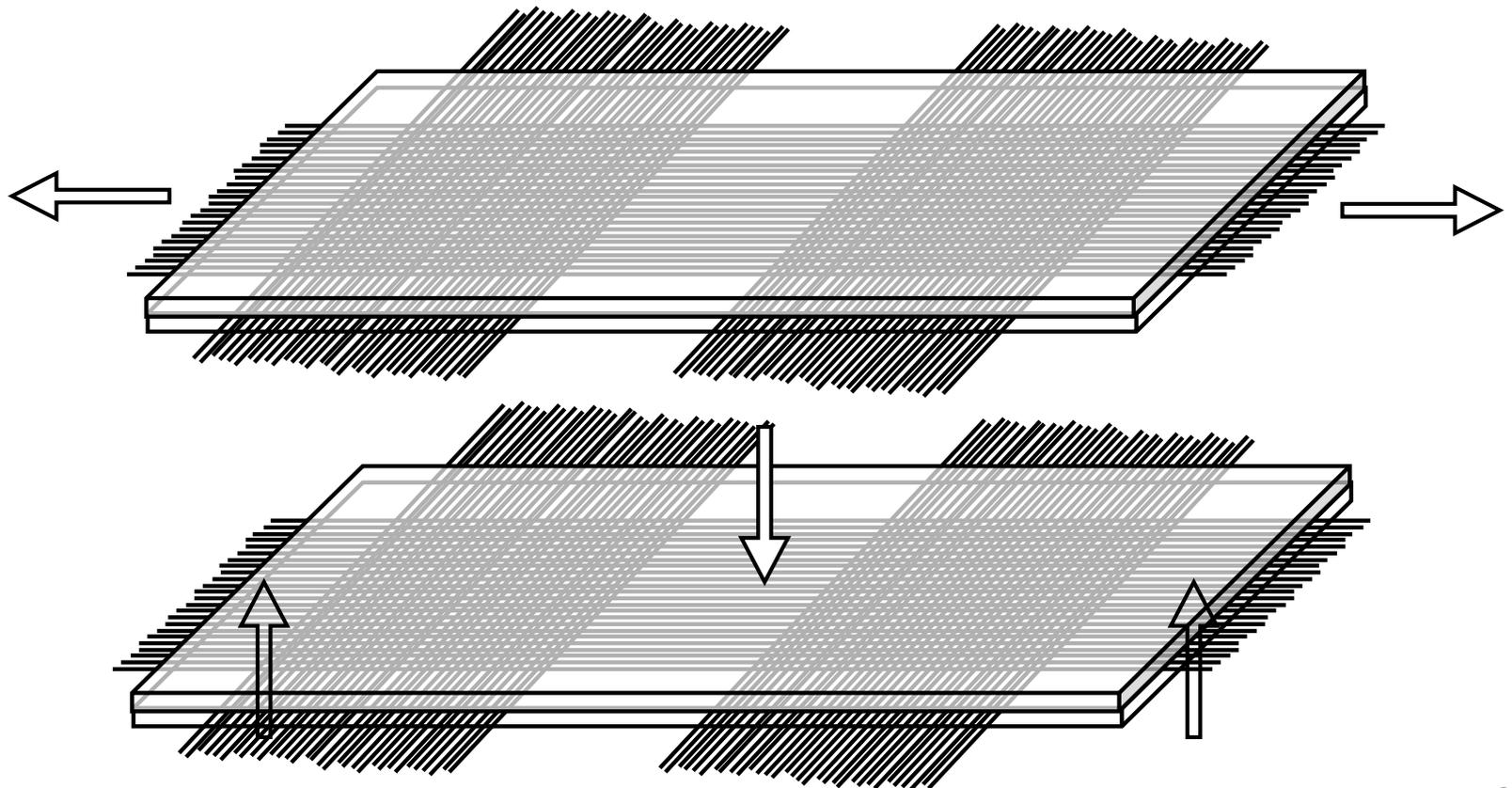
繊維表面に破壊開始点

実際の使用 炭素繊維の複合材料



炭素繊維複合材料 力学変形の様子

炭素繊維の変形？ マトリックスの変形？
応力不均一分布？ 破壊挙動？

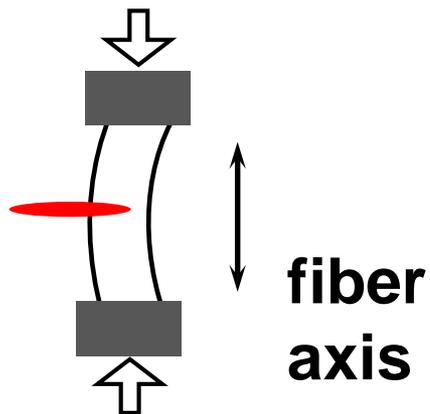
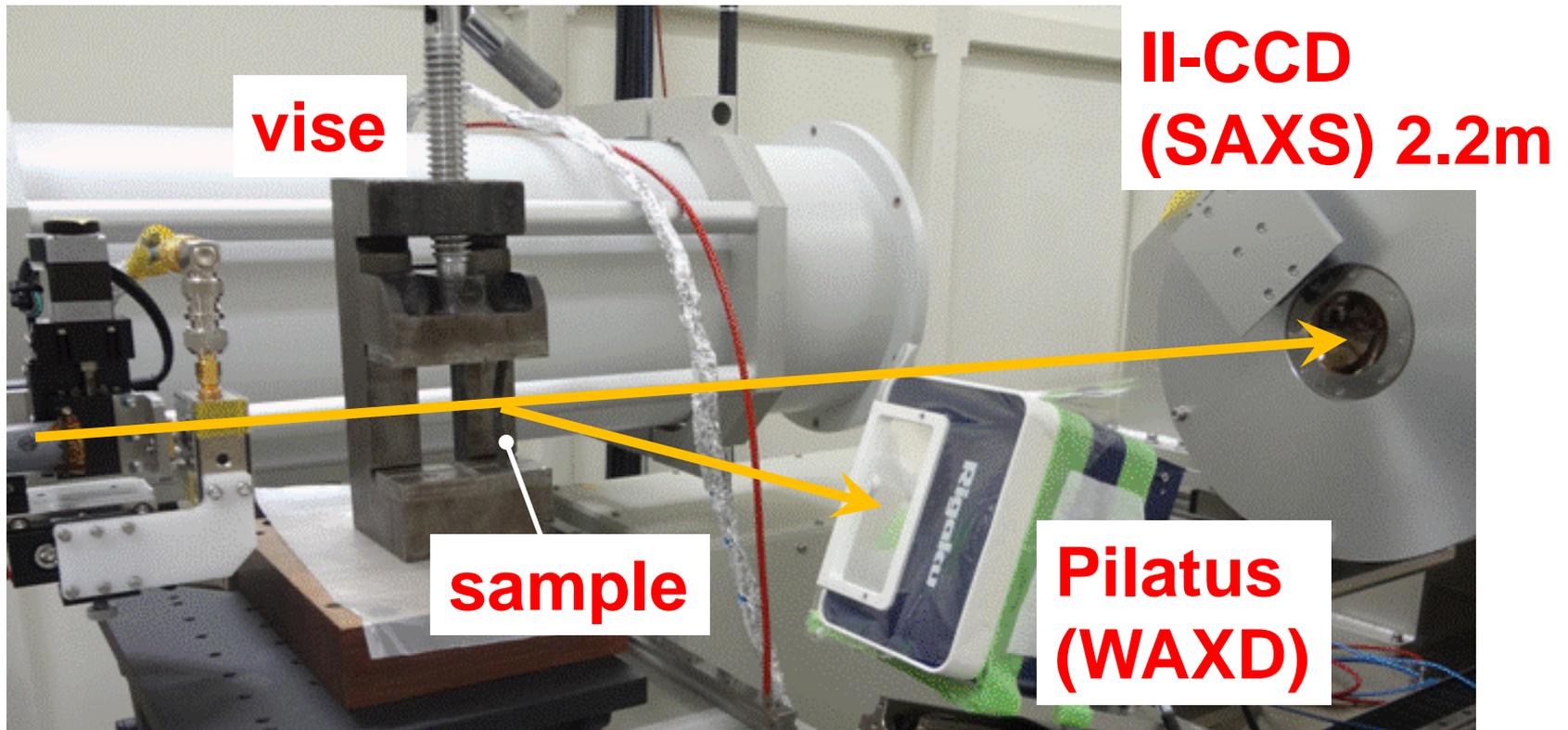


本研究の目的

- (1) 炭素繊維複合材料の力学変形に伴う炭素繊維の結晶域、非晶域、高次構造、接着剤の変形を微視的観点から追跡する
- (2) それに基づいて、炭素複合材料における力学的性質の弱点を明らかにし、炭素繊維複合材料強化のための指針を与える

実験

- (1) あいちシンクロトロン光施設ビームライン8S3
- (2) 炭素繊維複合材料の変形時における構造変化を追跡するために、広角X線回折、小角X線散乱の二次元パターンを「その場」測定
- (3) 試料 炭素繊維複合一軸配向試料(板)
 繊維軸に平行、垂直な曲げ変形



sample thickness 0.5mm^t

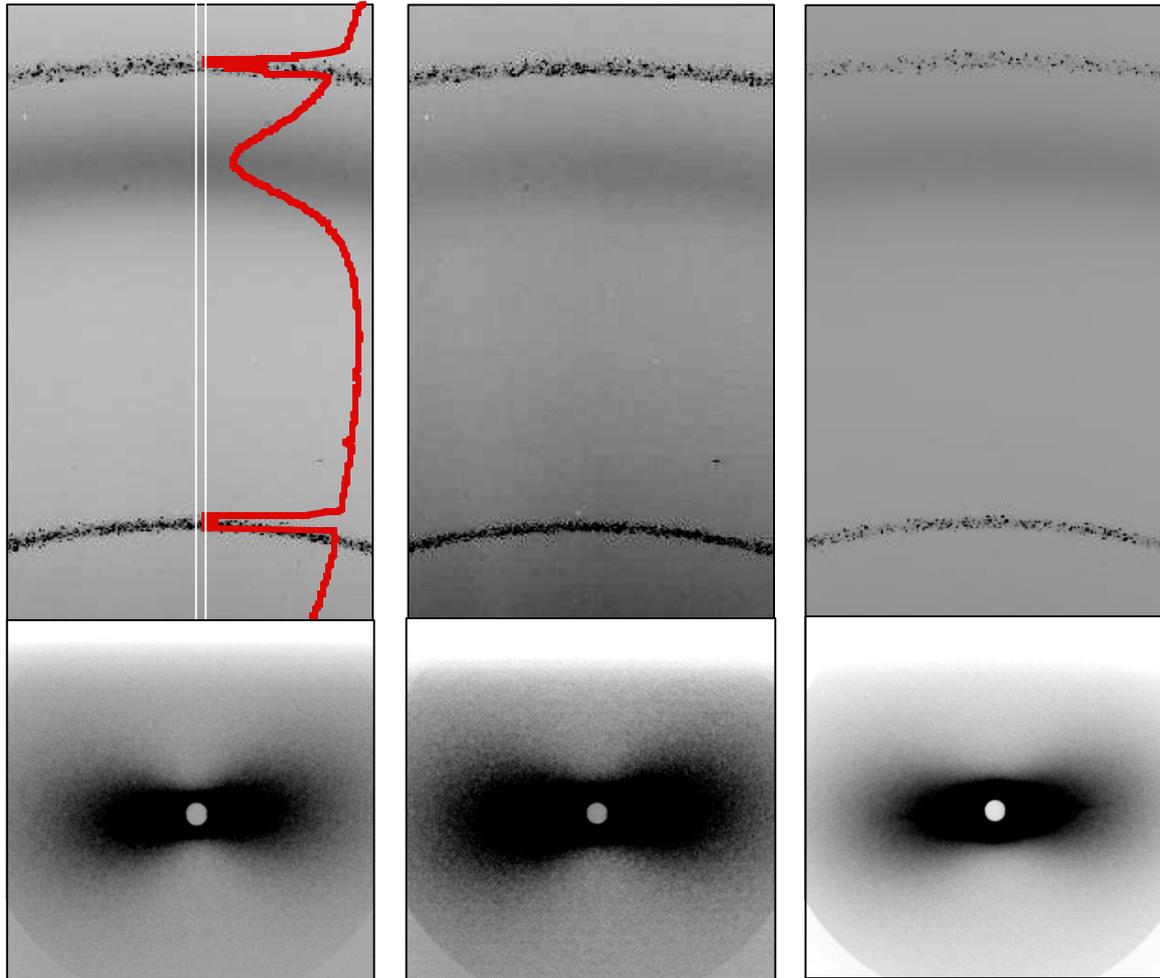
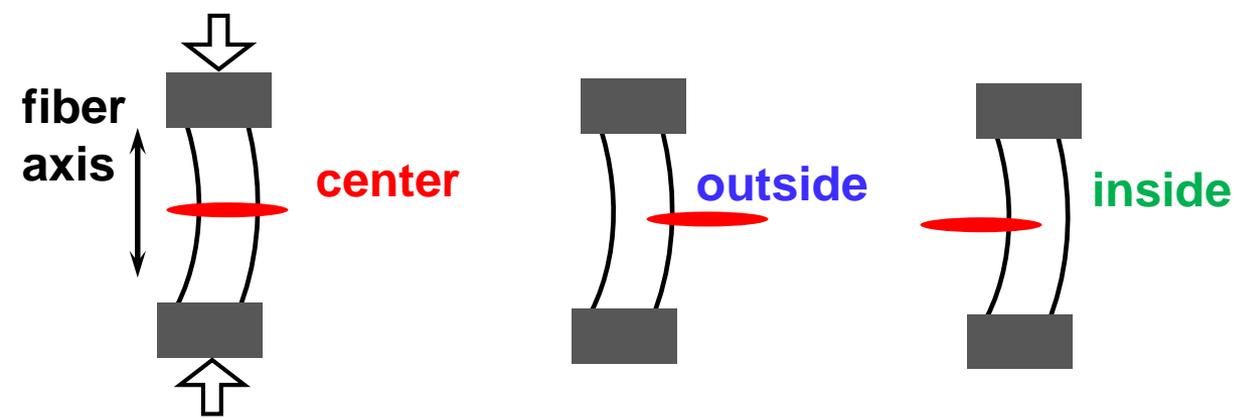
X-ray beam 1.5x0.6 mm²

X-ray wavelength 0.93 Å

CF Composite

Compression // fiber

Bulk strain -1.9%



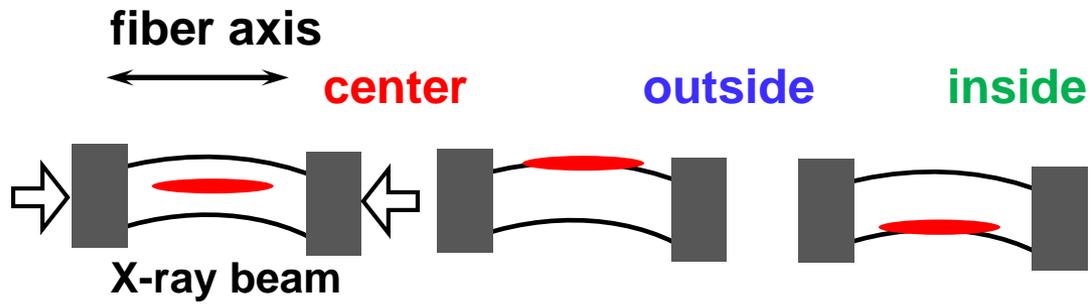
Si

WAXD 10

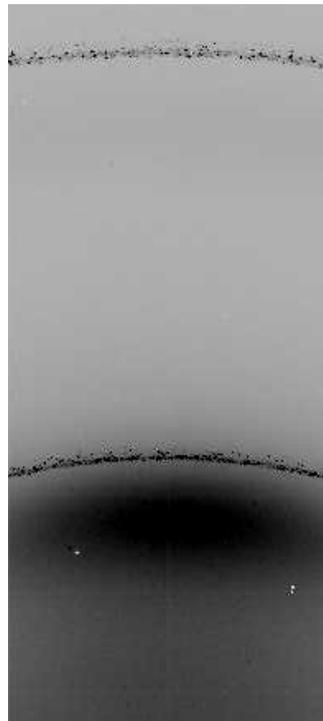
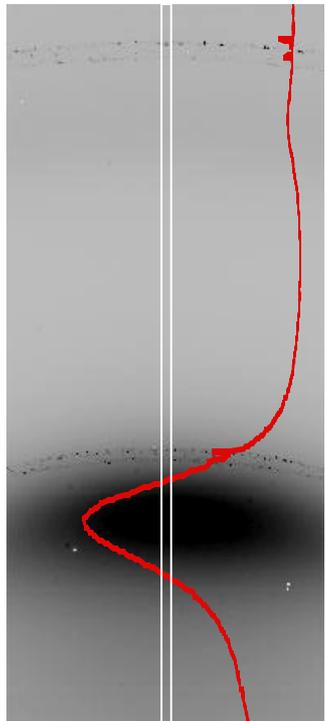
(100 + 110)

X-ray beam $1.5 \times 0.6 \text{ mm}^2$
sample thickness 0.5 mm^t

SAXS



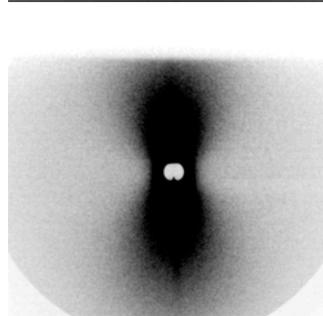
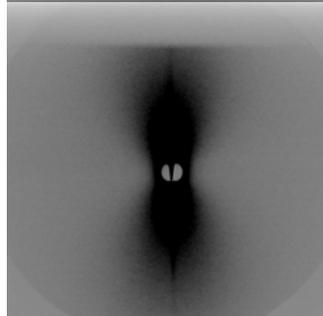
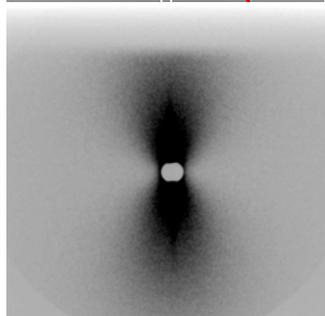
CF Composite
Compression // fiber
Bulk strain -1.8%



← **Si**

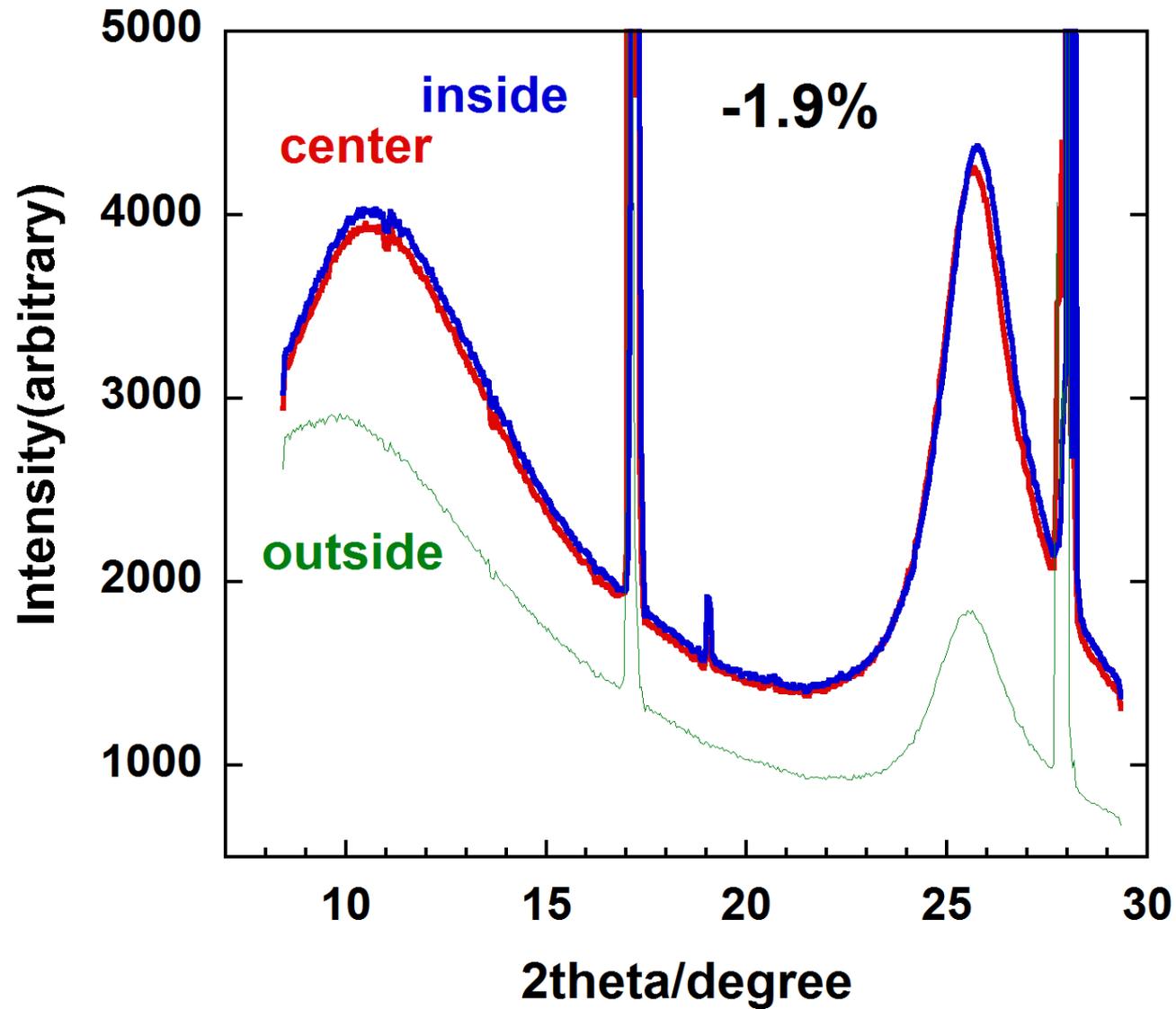
← **Si**

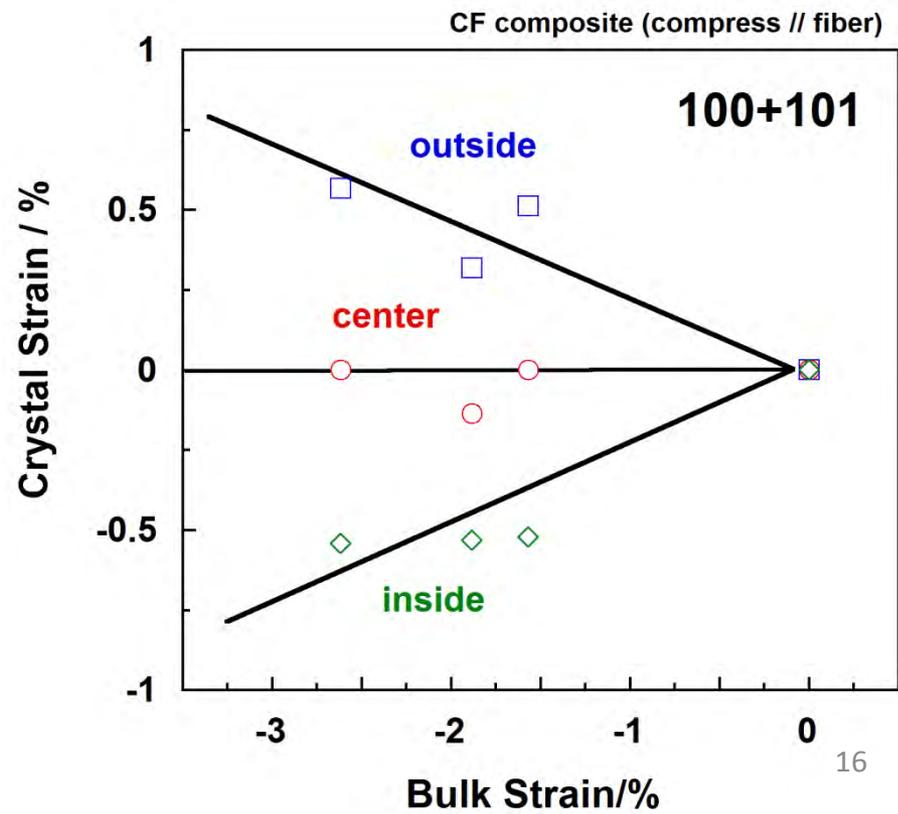
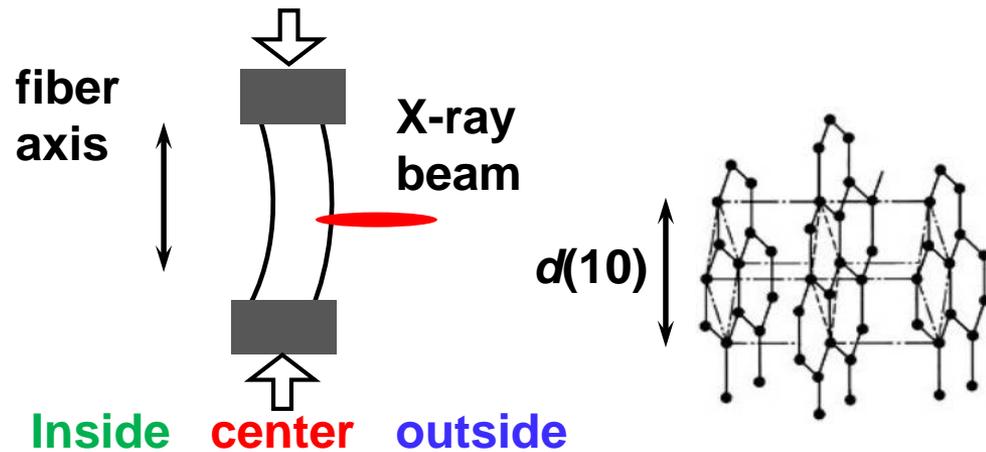
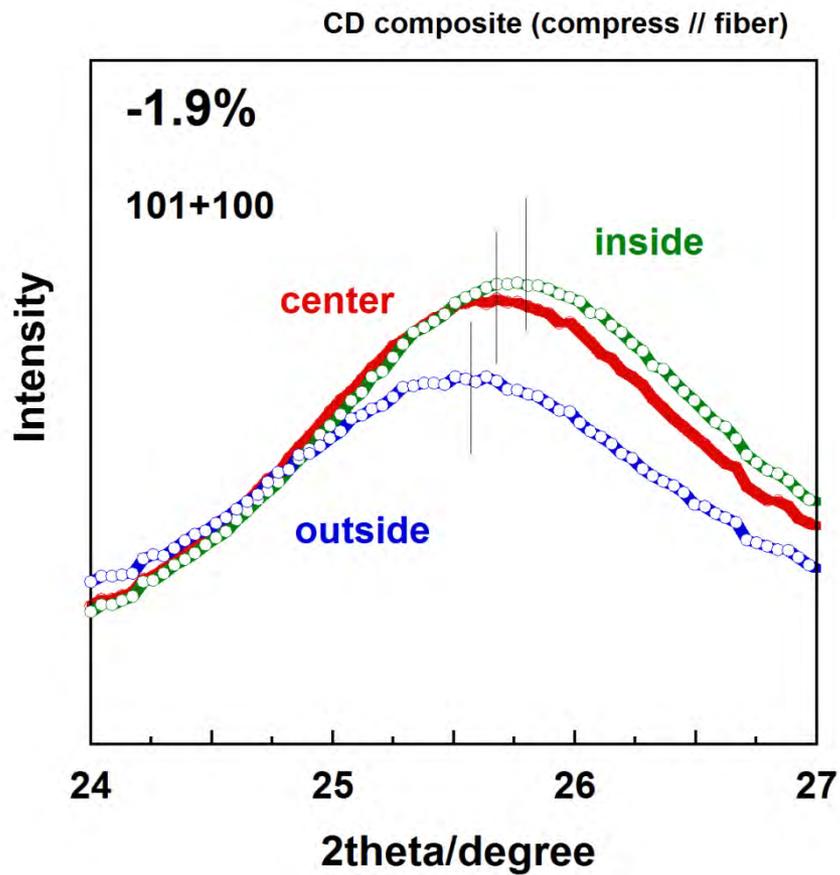
← **WAXD 002**

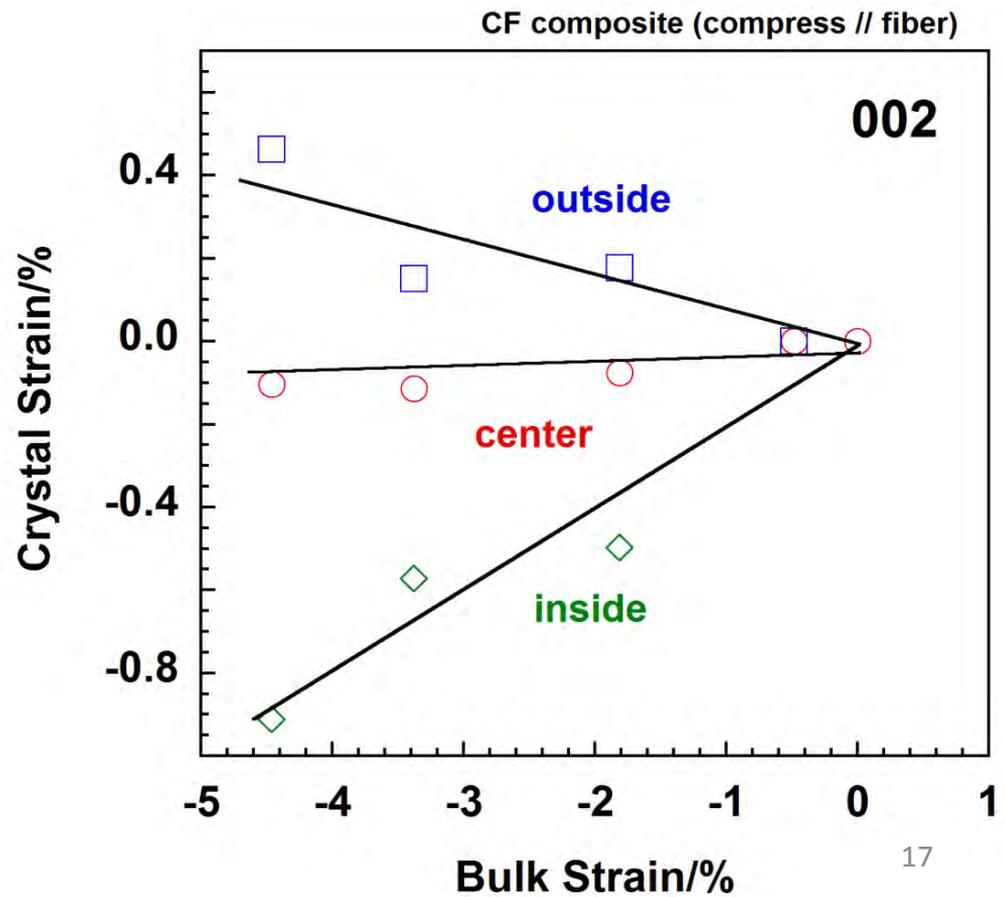
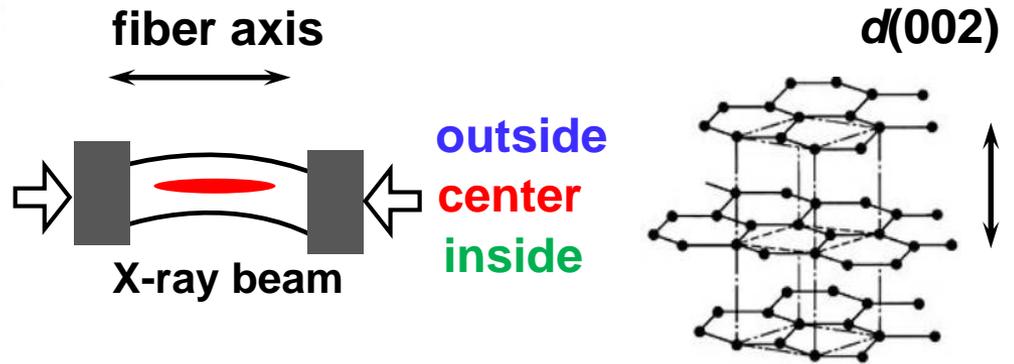
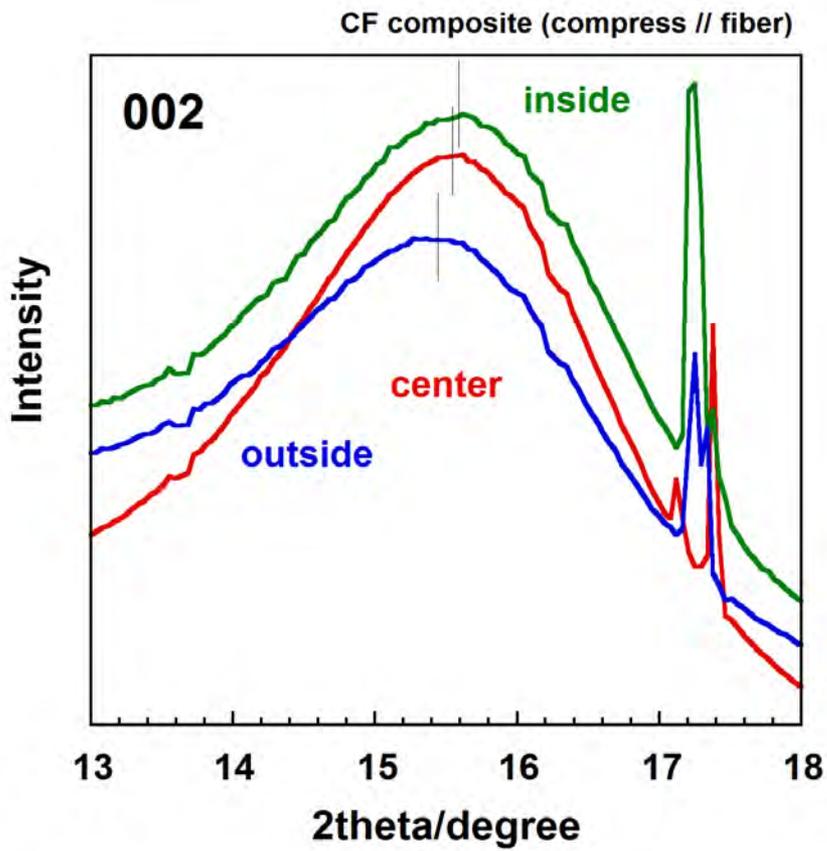


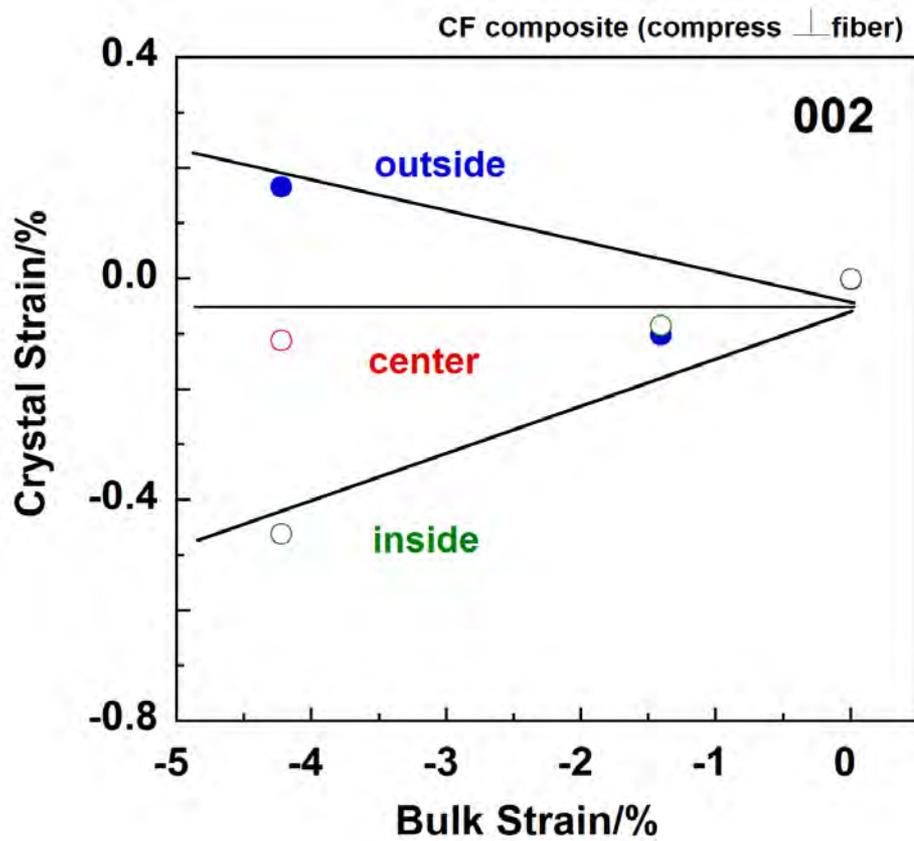
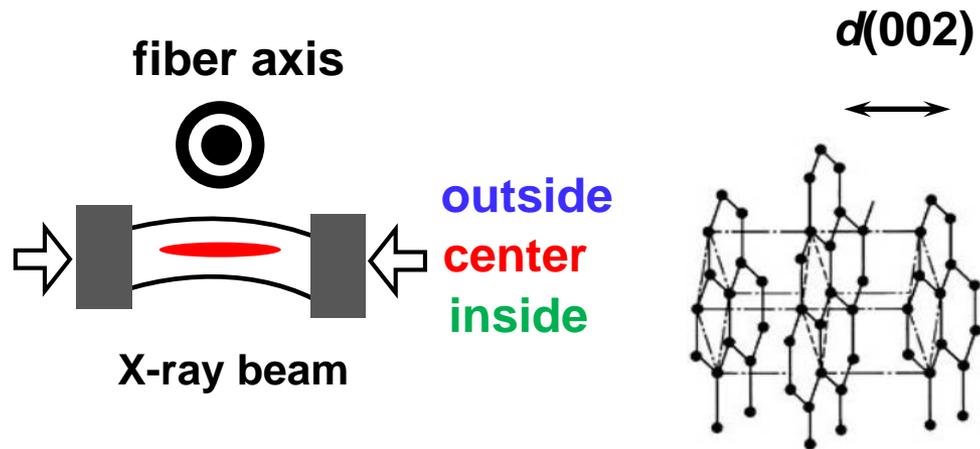
SAXS

CF-composite (compression//fiber)









まとめ

(1) 予備的実験ではあったが、炭素繊維複合材料の力学変形挙動を広角・小角X線散乱測定によって追跡することができた。

(2) バルクな変形と黒鉛結晶域の変形とを比較することができた。ただ精度がそれほどは高くない。

(3) より定量的かつ高精度の測定を、微小変形から破壊に至る広い応力範囲にわたって、様々な変形モードで行うことが今後必要である。